ANEXO 5

INVENTARIO DE EMISIONES

ESTIMACIÓN DE EMISIONES ETAPA DE CONSTRUCCIÓN
MATERIAL PARTICULADO Y GASES

Elaborado por:

IAL Ambiental Ltda.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN 2

2. METODOLOGÍA 2

2.1. Factores de Emisión (FE) 2

3. CÁLCULO DE EMISIONES 7

3.1. Antecedentes 7
3.2. Emisiones de Material Particulado 8
3.3. Emisiones de Gases 10
3.4. Síntesis de Resultados 11

4. CONCLUSIÓN 12

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento presenta los resultados asociados a la cuantificación y evaluación de las emisiones de material particulado y gases efecto invernadero que surgen como consecuencia a las actividades constructivas del Proyecto del Conjunto Habitacional Calera de Tango.

El área de influencia considerada para la estimación corresponde a las zonas aledañas a las fuentes emisoras, las que se caracterizan por ser puntuales y/o difusas, y vinculadas preferentemente al transporte de materiales, insumos y trabajadores así como a las actividades propias de las labores de edificación contempladas por el proyecto.

2. METODOLOGÍA

La cuantificación de las emisiones se obtuvo mediante la utilización de la metodología de factores de emisión, método desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ("*Envoronmental Protection Agency*" - EPA). Las fórmulas y relaciones aritméticas empleadas se encuentran indicadas en mayor detalle en el documento *Air Pollution Emission Factors AP - 42*.

Las actividades consideran fuentes de emisión con implicancias en el aumento en los niveles basales de calidad del aire como material particulado y gases efecto invernadero, las actividades contempladas corresponden a las siguientes:

a) Movimientos de tierra y compactación de suelos.
b) Carga y descarga de material.
c) Transito de camiones por caminos no pavimentados.
d) Tránsito de camiones por caminos pavimentados.
e) Combustión de motores (gases y material particulado)

2.1. Factores de Emisión (FE)

Los factores de emisión definidos para la evaluación de la calidad del aire son presentados a continuación, estos aspectos se asocian directamente a las actividades preparación del terreno, edificación y constructivas:

a) Movimiento de tierra y compactación de suelos. El factor de emisión para esta actividad se asociada al movimiento de tierra como respuesta a las excavaciones y escarpes que se producen en el área de estudio debido a la operación de buldózer o motoniveladora y de la misma forma al emparejamiento y estabilizado de la superficies donde se edificarán las viviendas [1].

$$FE = a * 0{,}45 * (s)^{1{,}5} * (M)^{-1{,}4} \quad (Kg/hora)$$

[1] Para mayor detalle ver Cap. 11.9.2. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Source. United States – Environmental Protection Agency.

Donde
FE : Factor de emisión movimiento de tierra, en Kg/hora.
a : Factor de corrección por el tamaño de la partícula PM - 10.
s : Contenidos de finos del material, en porcentaje (%).
M : Contenido de humedad del material, en porcentaje (%).

Parámetros
a : 0,75[2] .
s : 6,9 %[3].
M : 7,9 %[4].

El resultado final derivado de la ecuación anterior es la determinación del factor de emisión para el movimiento de materiales y compactación de suelos, valor que corresponde a 0,34 Kg/hora. Sin perjuicio de estos antecedentes la estimación total de material particulado es cuantificada a través de la siguiente expresión.

$$E = FE * H / 1.000 \ \ (ton/día)$$

Donde:
E : Emisión por el movimiento de tierra, en ton/día.
FE : Factor de Emisión del movimiento de tierra, en Kg/hora.
H : Horas de trabajo de la maquinaria, en horas por día.

b) Carga y descarga de material. La estimación de esta actividad permite cuantificar le material particulado producto de la transferencia de material (carga/descarga). Esta operación se lleva a cabo a través de maquinas como buldózer, cargadores o motoniveladoras[5].

$$FE = k * 0,0016 * (U \div 2,2)^{1,3} * (M \div 2)^{-1,4} \ \ (Kg/ton)$$

Donde
FE : Factor de emisión carga y descarga de material, en Kg/ton.
k : Factor de corrección por el tamaño de la partícula PM - 10.
U : Contenidos de finos del material, en m/s.
M : Contenido de humedad del material, en porcentaje (%).

Parámetros
k : 0,35.
U : 2,5 (m/s)[6].
M : 7,9 % [7].

El resultado final derivado de la ecuación anterior, determina el factor de emisión para carga y descarga de materiales, valor que corresponde a 0,0001 Kg por tonelada de material removido. Sin perjuicio de estos antecedentes la estimación total de material particulado es cuantificada a través de la siguiente expresión:

$$E = FE * M / 1.000 \ \ (ton)$$

[2] Factor obtenido de la tabla 11.9-2. Cap. 11.9 “Western surface coal mining”. Compilation of Air Pollutant Emission Factors.
[3] Factor obtenido de la tabla 11.9-3 “Overburdem”. Cap. 11.9 “Western surface coal mining”. Compilation of Air Pollutant Emission Factors.
[4] Factor obtenido de la tabla 11.9-3 “Overburdem”. Cap. 11.9 “Western surface coal mining”. Compilation of Air Pollutant Emission Factors.
[5] Factor obtenido del Cap. 13.2. Compilation of Air Pollutant Emission Factors.
[6] Valor estimado para zona del proyecto.
[7] Factor obtenido de la tabla 11.9-3 “Overburdem”. Cap. 11.9 “Western surface coal mining”. Compilation of Air Pollutant Emission Factors.

Donde:
E : Emisión pora carga y descarga de material, en ton.
FE : Factor de Emisión de la carga y descarga de material, en Kg/ton.
M : Cantidad total de material cargado y descargado, en toneladas.

c) Transporte por caminos no pavimentados de vehículos pesados[8]. El flujo vehicular sobre vías no pavimentadas provoca emisiones de material particulado debido a la resuspensión del polvo como repuesta al transito de vehículos. La emisión de material particulado por efecto del flujo por caminos no pavimentados corresponde a la siguiente expresión:

$$E = FE * L * V \text{ (Kg/día)}$$

Donde:
E : Emisión por el tránsito en calles no pavimentadas, en Kg/día.
FE : Factor de Emisión por flota de vehículos y por tamaño de partículas que se esté considerando, en Kg/Veh/Km.
L : Longitud de las calles no pavimentadas que se están considerando, en Km.
V : Flujo vehicular total, se incluyen todos los tipos de vehículos en las calles no pavimentadas, en Veh/día.

El resultado final derivado de la ecuación anterior es la cuantificación de material particulado emitido debido al tránsito de la flota completa sobre las vías no pavimentadas y las distancias recorridas por cada móvil de vehículos pesados corresponde a:

$$FE = 281{,}9 * k * (s/12)^{0{,}9} * (W/3)^{0{,}45} * (1 - p/365) / 1.000 \text{ (Kg/Km/Veh)}$$

Donde
FE : Factor de emisión por caminos no pavimentados, en Kg/Km/Veh.
k : Factor de corrección por el tamaño de la partícula, en lb/VMT.
s : Contenidos de finos en superficie, en porcentaje (%).
W : Peso medio del vehículo, en toneladas.
p : Número de días con al menos 0,254 mm de precipitación.

Parámetros
k : 1,5 lb/VMT correspondiente al tamaño de la partícula (MP – 10)
s : 7,8 %[9], contenido de finos en el camino
W : 12,5 ton (peso promedio de vehículo cargado y descargado)
p : 35 días (promedio Región Metropolitana)

El resultado final derivado de la ecuación anterior, determina un factor de emisión para el transito de vehículos por caminos no pavimentados correspondiente a 1,74 Kg/Km/Veh.

d) Transporte por caminos pavimentados de vehículos[10]. El flujo vehicular sobre vías pavimentadas provoca emisiones de material particulado debido a la resuspensión del polvo que esta acción provoca. La emisión de material particulado se estima a partir del desplazamiento de vehículos desde la ubicación del proyecto y el anillo de circunvalación de Av. Américo Vespucio.

$$E = FE * L * V \text{ (Kg/día)}$$

[8] Para mayor detalle: Cap. 13.2.2 “unpaved roads”. Compilation of Air Pollutant Emission Factors.
[9] Factor obtenido de la tabla 11.9-3 “Overburdem”. Cap. 11.9 “Western surface coal mining”. Compilation of Air Pollutant Emission Factors.
[10] Para mayor detalle: Cap. 13.2.2 “unpaved roads”. Compilation of Air Pollutant Emission Factors.

Donde:

E : Emisión por el tránsito en calles pavimentadas, en Kg/día.

FE : Factor de Emisión por flota de vehículos y por tamaño de partículas que se esté considerando, en Kg/Veh/Km.

L : Longitud de las calles no pavimentadas que se están considerando, en Km.

V : Flujo vehicular total, se incluyen todos los tipos de vehículos en las calles pavimentadas, en Veh/día.

El resultado final derivado de la ecuación anterior es la cuantificación de material particulado emitido debido al tránsito de la flota completa sobre las vías pavimentadas. El factor de emisión para este aspecto se estima a partir de las siguientes variables:

$$FE = [\ 4{,}6 * (sL/2)^{0{,}65} * (W/2{,}7)^{1{,}5} - C\ ] * (1 - p/4N) / 1.000 \quad (Kg/Km/Veh)$$

Donde

FE : Factor de emisión por caminos pavimentados, en Kg/Km/Veh.

sL : Carga de finos en superficies, en g/m^2.

W : Peso medio del vehículo, en toneladas.

C : Factor de corrección

p : Número de días con al menos 0,254 mm de precipitación.

N : Número de días del periodo a estimar.

Parámetros

sL : 0,18 g/m^2 [11], contenido de finos en el camino.

W : 12,5 ton (peso promedio de vehículo cargado y descargado).

C : 0,1317 g/VKT.

p : 35 días (promedio Región Metropolitana).

N : 365 días.

El resultado final derivado de la ecuación anterior, determina del factor de emisión para el transito de vehículos por caminos no pavimentados, el que corresponde a 0,007 Kg/Km/Veh.

e) Emisión por Combustión[12]. Los factores de emisión asociado a la combustión de motores corresponden a la incorporación al medio ambiente de material particulado y gases efecto invernadero, aspectos que se determinan sobre la base de la velocidad del vehículo, total de vehículos y distancias recorridas por cada uno.

Cuadro N° 2.1.1: Factores de Emisión, Combustión Tubo de Escape

[11] Factor obtenido de la tabla 11.9-3 “Overburdem”. Cap. 11.9 “Western surface coal mining”. Compilation of Air Pollutant Emission Factors.

[12] Para mayor detalle: Guía de Estimaciones de Emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios. Región metropolitana CONAMA.

Tipo de vehículo	Contaminante	Factor de Emisión ($FE_{COMBUSTIÓN}$)	Unidad
Vehículo Pesado	Material Particulado	$FE = 10{,}933 * V^{(-0{,}754)}$	(g/Veh/Km)
	Monóxido de Carbono (CO)	$FE = 37{,}28 * V^{(-0{,}6943)}$	
	Óxidos Nitrosos (NOx)	$FE = 108{,}36 * V^{(-0{,}6061)}$	
	Hidrocarburos Totales (HC)	$FE = 40{,}120 * V^{(-0{,}8774)}$	

Donde
V : Velocidad promedio a la cual transitan los vehículos en Km/h.

Parámetro
V : 50 Km/h.

Los factores de emisión de los contaminantes corresponde a:

Cuadro N° 2.1.2: Factores de Emisión, Combustión Tubo de Escape

FE CO	FE HC	FE NOx	FE MP - 10
2,5	1,3	10,1	0,6

La cuantificación de la cantidad de gases efecto invernadero generado por el proyecto se condiciona, a la siguiente expresión.

$$E_{COMBUSTIÓN} = FE_{COMBUSTIÓN} * D / 1.000 \text{ (Kg/día)}$$

Donde
$E_{COMBUSTIÓN}$: Emisión por combustión, en Kg / día.
$FE_{COMBUSTIÓN}$: Factor de emisión por combustión, en g / Km / Veh.
D : Número kilómetros recorridos y vehículos.

3. CÁLCULO DE EMISIONES

3.1. Antecedentes

A continuación se presentan las estimaciones de material particulado para la etapa de construcción del proyecto. Sin embargo antes de presentar las cuantificaciones se señalan las características y supuestos de la etapa de construcción.

Construcción:

- El tiempo estimado de las actividades de construcción se ha definido para un año, con jornada de trabajo de lunes a viernes (20 días mensuales) y de nueve horas.
- Velocidad de tránsito de los camiones al interior del predio se estima en 30 Km/hora.
- Las distancias que recorrerán los vehículos por caminos sin pavimentar diariamente corresponden a 1 Km.
- Las caracterizaciones de la flota de vehículos a emplear durante la etapa de construcción se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro Nº 3.1.1: Maquinaría a Emplear

Fuente Emisión	Cantidad	Periodicidad Emisión (días)	Hora de Trabajo Diario (horas)
Camiones	5	180	9
Camión Mixer	1	180	9
Motoniveladora	1	90	9
Excavadoras	2	105	9
Tractores con coloso	2	210	9
Tractor aljibe	1	240	9
Cargador frontal	1	105	9
Camión con acoplado	1	210	9
Rodillo vibrador	1	90	9

Fuente: Elaboración propia

3.2. Emisiones de Material Particulado

a) Movimientos de tierra y compactación de suelos. El movimiento de tierra se encuentra determinado por la cantidad de horas de trabajo efectivo que emplea la maquinaria para su desempeño. La determinación de esta variable se estableció en función de un jornada de trabajo de nueve horas, un trabajo efectivo de 80% de su jornada de trabajo.

Cuadro Nº 3.2.1: Horas de Trabajo Maquinaria

	Cantidad	Días de trabajo Etapa de Construcción	Hora de trabajo	
Motoniveladora	1	90	648	648
Excavadoras	2	105	756	1.512
Cargador frontal	1	105	756	756
Rodillo vibrador	1	90	648	648
			Subtotal	**3.564**

Fuente: Elaboración propia

Observación: a) 3.564 horas de trabajo de la maquinaria durante la etapa de construcción.	Factor de Emisión FE 0,34 Kg/hora	**1,2 ton/año**

La cantidad de material particulado que se registra producto del movimiento de maquinaria descrito para el proyecto corresponde a 1,2 ton/año.

b) Carga y descarga de material. La carga y descarga de material se encuentra asociado directamente a partir de la cantidad de material a ser removido, valor que se estima en 50.600 ton (ó 23.000 m^3).

Observación: a) 56.000 toneladas de material a remover en todo la etapa de construcción.	Factor de Emisión FE 0,0001 Kg/ton	**0,005 ton/año**

c) Transito de vehículos por caminos no pavimentados. La estimación de material particulado en caminos no pavimentados se conceptualizó a partir del desplazamiento de vehículos al interior del predio donde se edificarán las viviendas. El factor de emisión que se emplea para la determinación corresponde a 0,002 Kg/Km/Veh. Por otra parte para efectos de una estimación real se asumo un 40% de eficiencia en la humectación de caminos

Cuadro Nº 3.2.2: Desplazamiento de Vehículos, Caminos no Pavimentados

Tipo de Vehículo	Cantidad	Recorrido promedio Diario (Km)	Días de Trabajo	Emisión (ton/año)
Camiones	5	2,0	180	0,0019
Camión mixer	1	2,0	180	0,0004
Tractor aljibe	1	2,0	240	0,0005
Camión acoplado	1	2,0	210	0,0004
			Total	**0,003**

Fuente: Elaboración propia

d) Transito de vehículos por caminos pavimentados. La estimación de material particulado en al etapa de construcción se encuentra determinada por el desplazamiento de vehículo al interior del predio donde se edificarán las viviendas. El factor de emisión que se emplea para la determinación corresponde a 0,007 Kg/Km/Veh.

Cuadro Nº 3.2.3: Desplazamiento de Vehículos, Caminos Pavimentados

Tipo de Vehículo	Cantidad	Recorrido promedio Diario (Km)	Días de Trabajo	Emisión (ton/año)
Camiones	5	42,0	180	0,25
Camión mixer	1	42,0	180	0,05
Tractor aljibe	1	42,0	240	0,07
Camión acoplado	1	42,0	210	0,06
			Total	**0,42**

Fuente: Elaboración propia

e) Emisión de material particulado por combustión. Las emisiones de material particulado por combustión (tubo de escape) se encuentran determinados por la velocidad de circulación del vehículo y en segundo lugar por las distancias recorridas.

Cuadro N° 3.2.4: Emisiones MP - 10 por Combustión de Motores

Tipo de Vehículo	Cantidad	Recorrido promedio Diario (Km)	Días de Trabajo	Emisión MP 10 (Kg/año)
Camiones	5	42,0	180	21,6
Camión mixer	1	42,0	180	4,3
Tractor aljibe	1	42,0	240	5,7
Camión acoplado	1	42,0	210	5,1
			Total (Kg/año)	**36,7**
			Total (ton/año)	**0,04**

Fuente: Elaboración propia

3.3. Emisiones de Gases

a) Emisión de Gases. La emisión de gases basa su cálculo en las distancias recorridas por el vehículo y las velocidades de circulación. Los resultados se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 3.3.1: Emisiones de Gases por Combustión de Vehículos

Tipo de Vehículo	Cantidad	Recorrido promedio Diario (Km)	Días de Trabajo	Emisión CO	Emisión HC	Emisión NOx
Camiones	5	42,0	180	93,1	49,0	382,5
Camión mixer	1	42,0	180	18,6	9,8	76,4
Tractor aljibe	1	42,0	240	24,8	13,1	101,9
Camión acoplado	1	42,0	210	21,7	11,4	89,2
			Total (Kg/año)	**158,4**	**83,3**	**650,2**
			Total (ton/año)	**0,1**	**0,08**	**0,65**

3.4. Síntesis de Resultados

A continuación se presenta la síntesis de las emisiones estimadas para material particulado en la etapa de construcción:

Cuadro Nº 3.4.1: Síntesis Emisiones de Material Particulado (ton/año)

Actividad	Etapa de Construcción (ton/año)
Movimientos de tierra	1,2
Carga y descarga de material	0,005
Transporte de caminos no pavimentados vehículos	0,003
Transporte de caminos pavimentados vehículos	0,42
Material particulado por combustión	0,04
Total	**1,7**

Fuente: Elaboración propia

El valor estimado de material particulado para la etapa de construcción ascienden a 1,7 ton/año, valor muy por debajo del límite de 10 toneladas anuales que estipula el D.S. Nº 58/03 Nº "Reformula y Actualiza el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la región Metropolitana (PPDA), del Ministerio General de la Presidencia. La superación eventual del límite implicaría el desarrollo de un plan de compensaciones para proyectos de estas características, sin embargo en respuesta a los niveles que se registran no será necesario un plan de compensaciones.

A continuación se observa la síntesis de las emisiones de gases efecto invernadero para la etapa de construcción.

Cuadro Nº 3.4.2: Síntesis Emisiones de Gases (ton/año)

Parámetro	Etapa de Construcción (ton/año)
Monóxido de Carbono – CO	**0,1**
Hidrocarburos Totales - HC	**0,08**
Óxidos Nitrosos - NOx	**0,65**

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo anterior, las cantidades anuales de monóxido de carbono y óxidos nitrosos, son normadas por el D.S. Nº 58/03, en cuanto al límite máximo de emisión siendo éstos 100 y 50 toneladas anuales. Las emisiones de hidrocarburos totales no son indicados por al normativa, No obstante ello, los valores estimados se advierten marginales.

Finalmente, los valores en materia de material particulado y gases efecto invernadero representan cantidades no significativas de emisión.

4. CONCLUSIÓN

Se concluye que las emisiones de material particulado y gases efecto invernadero no representan cantidades significativas de emisión, considerando que éstas se producen en una temporalidad estacional, geográficamente acotadas y en sectores biótica de importancia. Las actividades más relevante en términos de los niveles de material particulado corresponde al transporte por caminos no pavimentados de vehículos pesados y vehículos livianos. En cuando a los gases efecto invernadero, éstos también se presentan un similar escenario al observado al material particulado.

Finalmente, al comparar los niveles material particulado y gases efecto invernadero estimados con la normativa D.S. Nº 58/03 es importante consignar el bajo impacto en términos de calidad en respuesta a las cantidades que advierte el proyecto. En consecuencia el Proyecto Habitacional de Calera de Tango no debiese implementar un plan de compensación de emisiones

Cuadro Nº 4.1.1: Estimaciones de Material Particulado y Gases

Parámetro	Etapa de Construcción (ton/año)	D.S. Nº 58/03	Evaluación
Material Particulado – MP 10	**1,7**	**10,0**	**Cumple**
Monóxido de Carbono – CO	**0,1**	**100,0**	**Cumple**
Hidrocarburos Totales - HC	**0,08**	**- -**	**- -**
Óxidos Nitrosos - NOx	**0,65**	**50,0**	**Cumple**

Respecto de la etapa de construcción si bien se efectúa en un periodo de 12 meses, las actividades relevantes como movimientos de tierra, carga/descarga de material, compactación de suelos y flujo vehicular poseen un carácter local, temporal y no permanente.